

국내 주요 항만 인근의 탁도 특성 분석

장인성¹, 원덕희^{*}, 백원대¹, 신창주¹, 이승현²

¹한국해양과학기술원 연안공학연구본부, ²선문대학교 토목공학과

Turbidity Characteristics of Korean Port Area

In-Sung Jang¹, Deekhee Won^{*}, Wondae Baek¹, Changjoo Shin¹, Seung-Hyun Lee²

¹Coastal Engineering Division, Korea Institute Ocean Science & Technology

²Department of Civil Engineering, Sunmoon University

요약 수중 기초사석 고르기 작업이나 수중시설물 점검 및 유지관리 등 수중 항만 공사를 위해서 수중에서의 충분한 시계 확보가 필수적이다. 이는 잠수사에 의한 작업뿐만 아니라 수중 기계화 장비를 활용한 작업에서도 마찬가지이다. 본 연구에서는 우리나라 동해, 남해, 서해에서 대표적인 항만이 위치하는 연근해 해역의 탁도를 측정하여 권역별 경향성을 수치적으로 확인하였다. 또한, 다양한 탁도 특성을 가지는 각 해역에서 수중 카메라나 소나 등과 같이 수중건설장비에 부착하여 효과적으로 활용 가능한 수중환경모니터링 시스템에 대해 검토하였다.

Abstract It is necessary to secure the underwater visibility in order to perform underwater works such as rubble mound leveling or inspection and management of underwater structures. In this study, turbidity data for typical port area in Korea were measured and analyzed according to the region. Underwater monitoring system including underwater camera and sonar system, which can be effectively attached to underwater equipment for various turbidity conditions, was also investigated.

Keywords : Port, Sonar System, Turbidity, Visibility, Underwater Camera

1. 서론

수중 기초사석고르기 작업이나 수중시설물 점검 및 유지관리 등 수중 항만 공사를 하기 위해서는 수중에서의 충분한 시계확보가 필수적이다. 이는 잠수사에 의한 작업 뿐만 아니라 Fig. 1과 같은 수중 기계화 장비를 활용한 작업에서도 마찬가지이다[1]. 이미 우리나라 서해안의 경우에는 수중 탁도로 인해 30cm 앞의 사물도 분간하기 어려울 정도로 혼탁하다고 알려져 있으며, 해상 공사의 경우에는 탁도로 인해 시계가 떨어지고 사물위치 파악 등의 어려움으로 인해 작업의 효율성이 떨어지게 된다.

선행연구자들은 다양한 탁도 조건에 대한 실내수조실험을 통해 수중 건설장비에 사용할 수 있는 적합한 광원의 위치와 투사각도를 알아보고자 하였으며[1], 또한 수중 작업 시 발생하는 부유물들로 인하여 탁도가 높아지는 수중환경에서 광학카메라 대신 무인수중장비에 소나를 탑재한 경우의 효능을 확인한 바 있다.[2]

본 연구에서는 우리나라 동해, 남해, 서해에서 대표적인 항만이 위치하는 연근해 해역의 탁도를 측정하여 권역별 경향성을 수치적으로 확인하고, 각 해역에서 수중 건설용 장비에 부착하여 효과적으로 활용 가능한 수중환경모니터링 시스템을 고찰하고자 하였다.

이 논문은 2015년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(해양개발용 수중건설로봇 사업단, PJT200539)

*Corresponding Author : Deekhee Won(Korea Institute Ocean Science & Technology)

Tel: +82-31-400-6339 email: thekeyone@kiost.ac.kr

Received November 23, 2015

Revised December 3, 2015

Accepted December 4, 2015

Published December 31, 2015



Fig. 1. Underwater equipment for rubble mound leveling

2. 국내 주요 항만의 탁도 분석 결과

탁도는 수중의 부유물질 등에 의하여 물이 혼탁한 정도를 뜻하는 것으로 물로 통과하는 빛이 이러한 비용해성 부유물질에 의해 산란되거나 흡수되어 흐리게 보여 지는데, 수질 지표로서 탁도는 보통 빛을 입사시켜 부유물질에 의해 산란된 정도를 광학적으로 측정하여 나타낸다. 탁도의 단위는 일반적으로 NTU(Nephelometric Turbidity Unit)를 사용하며, Fig. 2는 본 실험에서 활용한 탁도 측정기를 나타낸다.



Fig. 2. turbidity meter

국내 주요 항만이 위치하고 있는 총 68개 위치에서 실험값을 측정하였다. 대부분의 위치에서 3~5개 정도의 샘플을 채취하여 탁도 데이터를 확보하였으며, 그 값들을 평균하여 각 위치에서의 탁도값을 제시하였다. 주로 해수면에서의 값을 나타내고 경남 거제 인근에서는 수중에서의 값도 함께 측정하였다. Table 1은 전체 측정위치

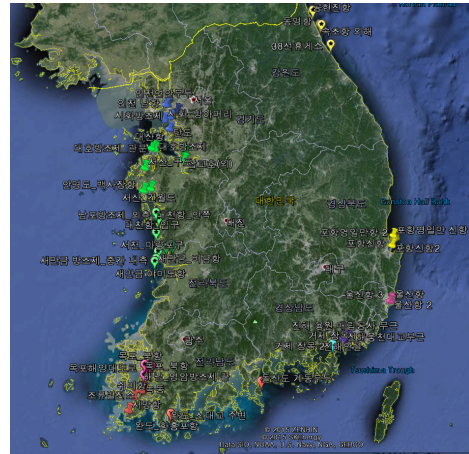


Fig. 3. Location of turbidity measurement

를 나타낸 것으로 인천, 평택, 군산, 목포, 진도, 거제, 진해, 울산, 포항, 속초 권으로 구성되어 있으며, 추가적으로 여수와 완도를 측정하였다. 특히, 거제도 장목항에서는 수중에서의 탁도를 측정하였다. 측정위치는 우리나라 전체적으로 커버할 수 있고 수중장비들이 적용될 가능성이 있는 위치를 선정하였다.

Table 1. Location of measurement

	Number of measurement
Inchon	6
Pyeongtaek	9
Gunsan	11
Mokpo	9
Jindo	7
Geoje	2
Jinhae	7
Ulsan	3
Pohang	7
Sokcho	4
Yeosu,Wando	3
All	68

Fig. 4~13은 각 지역권에서의 탁도 측정결과를 나타낸 것이다. Fig. 4은 인천권역의 탁도 측정결과로서 월곶포구가 52.2NTU으로 최대값을 가지며, 평균 26.82NTU의 탁도를 나타내고 있다.

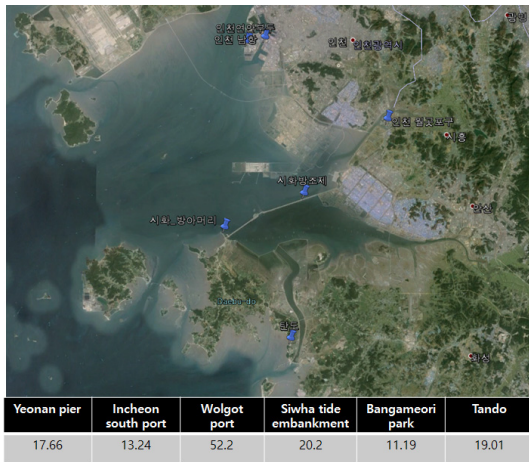


Fig. 4. Turbidity of Incheon area(unit : NTU)

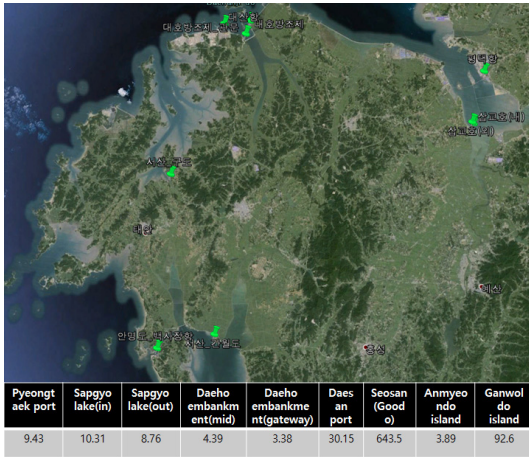


Fig. 5. Turbidity of Pyeongtaek area(단위 : NTU)

Fig. 5는 평택권의 탁도 측정결과를 나타낸 것으로서, 외해 지역의 탁도가 낮은 반면에 방조제 안측이나 항내에서는 탁도가 높은 것을 나타낸다. 특히 서산 구도의 경우에는 643.5NTU의 탁도값을 굉장히 높은 탁도를 나타내어 작업이 불가능한 상태로 판단된다. 또한 서산 구도를 제외한 평균값은 11.53NTU를 나타내는 것으로 나타났다.

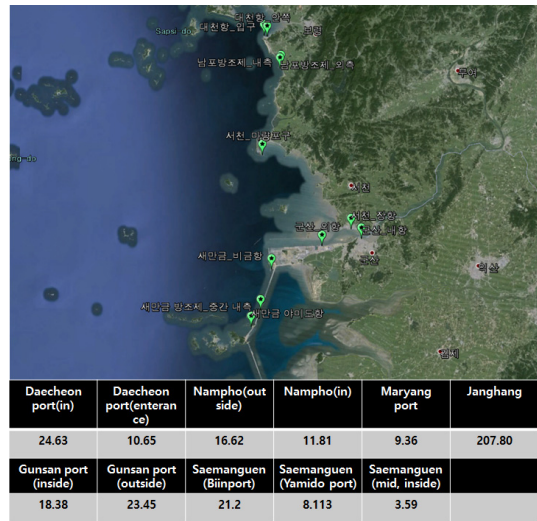


Fig. 6. Turbidity of Gusan area(unit : NTU)

Fig. 6은 군산지역의 탁도를 측정된 결과를 나타낸 것으로 총 11곳을 측정하였다. 전반적으로 10~25 NTU의 탁도를 보이는 것으로 나타났으며, 서천 장항이 207.80NTU로 작업이 어려울 정도로 시야가 확보 되지 않을 것으로 판단된다. 서천 장항을 제외 평균은 11.53NTU이다.

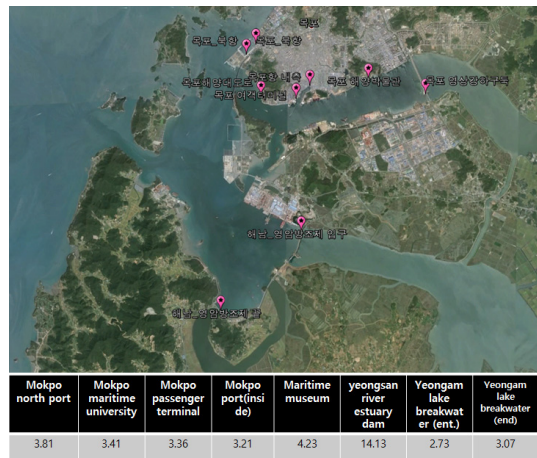


Fig. 7. Turbidity of Mokpo area(단위 : NTU)

Fig. 7은 목포권의 탁도를 나타낸 것으로 총 9개 위치를 선정하여 측정하였다. 영산강 하구둑을 제외하고 평균 4.85NTU의 탁도를 보이는 것으로 나타났으며, 영산강 하구둑의 탁도는 14.13이다.

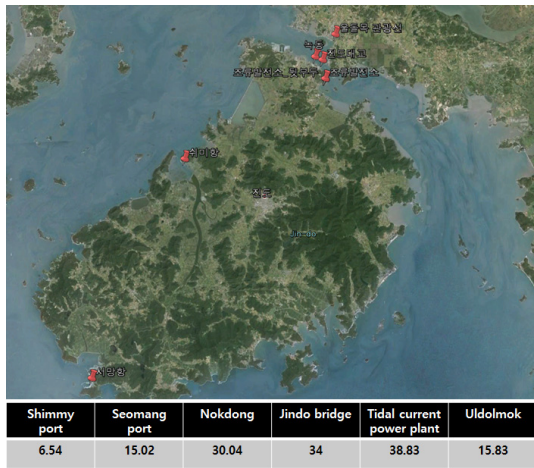


Fig. 8. Turbidity of Jindo area(unit : NTU)

Fig. 8은 진도의 탁도를 측정된 것으로 울돌목에서 4군데 그 외는 쉬미항, 서망항의 탁도를 측정하였다. 조류가 빨라 평균 32.01NTU의 탁도를 보이며, 쉬미항은 만지역으로서 탁도가 6.54NTU로 좋은 것으로 타나났으며, 서망항은 15.02NTU를 보였다.



Fig. 9. Turbidity of Geoje area(unit : NTU)

Fig. 9는 거제도의 탁도 측정위치를 나타낸 것으로 한국해양과학기술원 남해연구소 연구선 부두에서 탁도를 측정하였다. 수중에서도 탁도를 측정하였으며, 수중에서는 3.63NTU로 표면 1.04NTU보다 높은 것을 볼 수 있다.

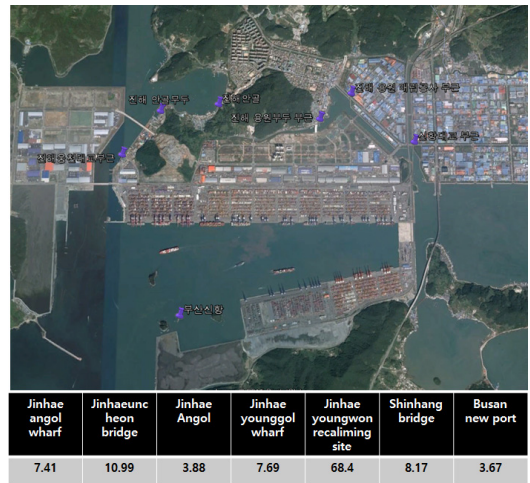


Fig. 10. Turbidity of Jinhae area(unit : NTU)

Fig. 10은 진해권(부산신항) 측정위치를 나타낸 것이다. 총 7지역을 측정하였으며, 부산신항의 배후 쪽 6군데와 항만내측 1곳을 선정하였다. 진해용원 매립공사지역은 68.4NTU로 부유사로 인하여 탁도가 높았으며, 이 지역을 제외하고는 10NTU이하를 나타낸 것으로 나타났으며, 부산신항 내측은 3.67NTU로서 해수의 순환이 상대적으로 좋아 탁도가 낮은 것으로 판단된다. 매립지역을 제외하고 평균 5.76NTU인 것으로 나타났다.

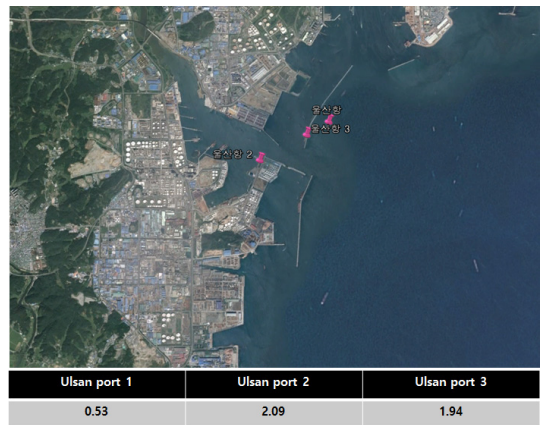


Fig. 11. Turbidity of Ulsan area(unit : NTU)

Fig. 11은 울산지역의 탁도를 나타낸 것으로 울산항 내항과 외항 모두 2.09NTU 이하로 매우 탁도가 좋은 것으로 나타났다. 이는 해수의 순환이 활발하게 잘 이루어지기 때문인 것으로 판단된다.

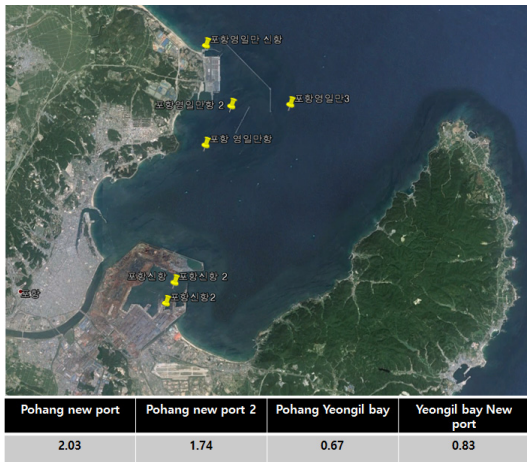


Fig. 12. Turbidity of Pohang area(unit : NTU)

Fig. 12는 포항지역을 탁도측정한 것으로 포항신항, 포항영일만항, 영일만 신항을 측정하였다. 해수의 순환이 좋은 포항 영일만항이 0.67NTU로 가장 낮은 것으로 나타났으며, 영일만신항도 0.83NTU로 좋은 것으로 나타났다. 가장 내측에 있는 포항신항도 2.03NTU이하로 타지역에 비하여 탁도가 좋은 것으로 나타났다.

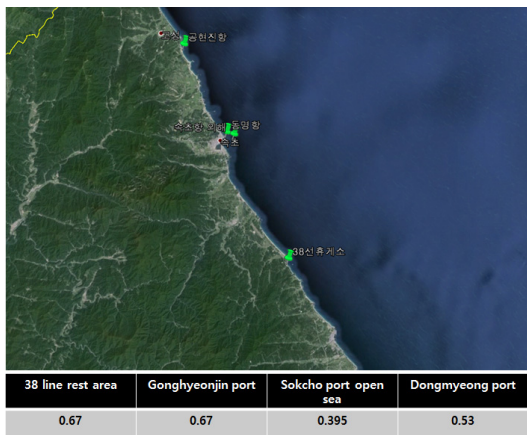


Fig. 13. Turbidity of Sokcho area(unit : NTU)

Fig. 13은 속초지역의 탁도를 측정하는 것으로서 모든 곳에서 탁도가 낮은 것으로 나타났다. Fig. 11~13에서 보는 바와 같이 동해의 탁도가 타 지역에 비해서 매우 좋은 것으로 측정되었다.

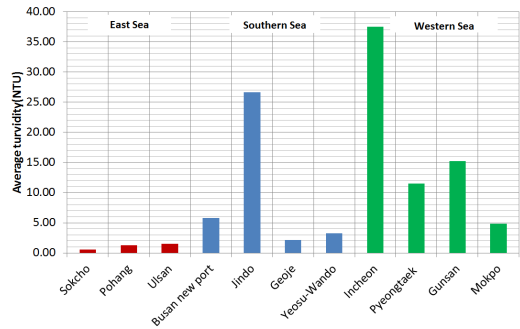


Fig. 14. Turbidity by regional groups

Fig. 14는 측정데이터를 권역별로 분류한 것으로서 각 지역별로 최대값을 제외하고 평균한 데이터를 나타낸 것이다. 동해권은 최대 1.52NTU이며, 남해에서는 진도가 26.64NTU로 가장 높다. 서해권은 전반적으로 탁도가 매우 높고 인천권이 37.50으로 가장 높은 것으로 나타났다. 탁도 측정결과 서해에서 남해를 거쳐 동해쪽으로 갈수록 탁도는 점점 낮아지는 것으로 나타났다. 그러나 본 측정데이터들은 자유수면에서의 탁도를 측정하는 것으로 수중에서 작업을 할 경우 지반 조건에 많은 영향을 받음으로 판단된다.

3. 탁도에 따른 수중환경 분석 방안

권역별로 차이는 있으나 수중 사색고르기 작업을 진행할 경우, 수중에서 부유사들로 인한 탁도 발생이 크게 일어날 것으로 예상되며, 이에 대한 대책으로 수중 장비에는 카메라 이외에 초음파 카메라 또는 멀티빔 센서 등의 활용이 불가피할 것으로 예상된다.

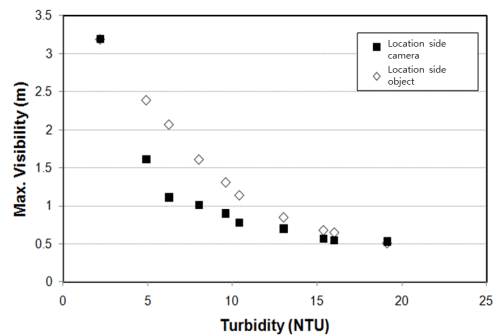


Fig. 15. Visibility with turbidity depending on the location of light [1]

Fig. 15는 선형연구자[1]가 수행한 실험의 결과로 탁도와 광원의 위치에 따른 최대 식별거리를 보여주고 있다. 최대 식별 가능거리는 카올리나이트가 첨가되지 않았을 경우인 탁도 0.63NTU에서 7m 이상이었으며 수조 내부의 모든 물체의 식별이 가능했다. 탁도가 2.2NTU일 경우, 최대식별가능거리는 광원의 위치에 상관없이 3m 남짓으로 감소했다. 하지만 탁도 4.92NTU에서는 광원이 사물 옆에 위치했을 경우가 카메라 옆에서 비추는 경우에 비해 식별거리가 1.61m에서 2.39m로 약 50%가량 증가했으며, 증가분은 6.26NTU 탁도에서 최대 86%에 도달한 후 탁도가 증가할수록 감소했다. 탁도가 매우 높은 15.38NTU 이후에는 탁도가 높아질수록 최대 식별거리의 차이가 거의 발생하지 않았다.



Fig. 16. Multi beam imaging sona(Blueview)

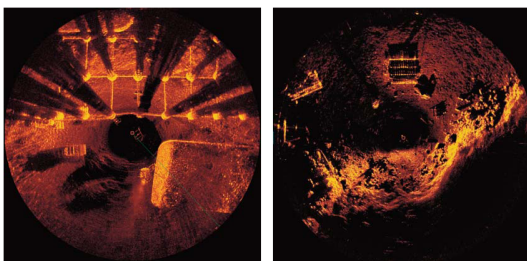


Fig. 17. Hammer head seaking sonar view (675, 935kHz Dual freq.)

이렇듯 수중 물체의 경우 탁도만 심하지 않다면 수중 카메라를 활용하여 전방의 물체를 인식하는 것이 가장 확실하면서 효율적인 솔루션이 될 수 있다. 하지만, 탁도가 6.5 NTU 이상에서는 일반 카메라를 이용하여 수중에서 물체를 인식할 수 없기 때문에 어느 정도의 탁도가 있는 실험역 상황이나 수중 기초사석 다지기 현장에서

수중의 환경을 안정적으로 인식하기 위한 좋은 솔루션 중 하나는 Fig. 16~17과 같이 멀티빔 이미징소나(multi-beam imaging sonar)를 활용하는 것이다[2]. 멀티빔 이미징 소나의 경우 실시간으로 전방의 해저 지형과 장애물 등을 탁도가 있는 상황(서해와 동일한 30NTU에서도 가능)에서도 이미지의 밝은 면과 그림자 정보 등을 이용하여 확인할 수 있는 장점이 있다. 또한, 전방탐지소나(forward looking sonar)를 멀티빔 소나 대신에 적용할 수도 있는데 전방탐지소나의 경우 레이더처럼 움직이기 때문에 수중체가 움직이는 동안에는 다소 인지가 어려울 수 있다. 하지만 수중용 작업 장비가 저속이고 탐지하는 동안 이동하지 않는다면 멀티빔의 대안으로 활용 가능할 것으로 판단된다. 한편 Taketsugu[3]의 연구와 같이 수중굴삭기에 피드백포스가 적용된 햅틱시스템을 적극 이용하여 소나 없이도 수중전방인식을 할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 우리나라 동해, 남해, 서해에서 대표적인 항만이 위치하는 연근해 해역의 탁도를 측정하여 권역별 경향성을 수치적으로 확인하고, 각 해역에서 수중 건설장비에 부착하여 효과적으로 활용 가능한 수중환경 모니터링 시스템을 고찰하였다.

먼저, 서해권의 탁도는 목포항을 제외하고 대부분 10NTU 이상이며, 최대 37NTU로 매우 높은 탁도를 보이는 것으로 나타났다. 이때에는 일반적인 카메라로는 시야 확보에 한계가 있을 수밖에 없기 때문에 멀티빔 이미징 소나를 이용하는 것이 효율적이라고 판단된다.

남해권의 경우, 진도의 조류의 흐름이 센 지역을 제외하면 대부분 10NTU 미만으로 탁도가 뛰어난 것으로 나타나 수중카메라를 이용가능할 것으로 나타났다.

동해권의 경우에는 서해권이나 남해권에 비해 탁도가 아주 뛰어난 것으로 나타났다. 3NTU이하로서 수중카메라를 사용하여도 시야확보가 잘될 것으로 나타났다.

본 연구에서 조사된 결과와 같이 탁도는 해당위치에서의 조류의 흐름이나 공사 유무에 따라서 많은 탁도의 차이가 많이 발생하는 것으로 나타났다. 수중 사석고르기 작업과 같은 해저면 토사의 부유를 유발시키는 작업을 수행한다면 수중 카메라를 이용한 시야 확보는 어렵게 된다. 이러한 경우에는 멀티빔 이미징소나(multi-beam imaging sonar)나 전방탐지소나(forward

looking sonar)를 수중 장비에 부착함으로써 수중건설용 장비를 효율적으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] In-sung Jang, Sung-Jun Jung, Won-Dae Baek, Heejung Youn. Visibility with Different Location and Projection Angle of Light under Turbid Water. Journal of academia-industrial technology, 12(8), 3758-3765, 2011
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2011.12.8.3758>
- [2] Changjoo Shin, In-Sung Jang, Kihun Kim, Hyun-Tack Choi, Seung-Hyun Lee, Performance Analysis of Sonar System Applicable to Underwater Construction Sites with High Turbidity. Journal of academia-industrial technology, 14(9), 4507-4513, 2013
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.9.4507>
- [3] Hirabayashi Taketsugu, Yamamoto Takashi, Sakai Hiroshi, Kato Hideo, Yokoi Hiroshi, "Construction of Teleoperation System with Bilateral Control for Underwater Construction Machine", Report of the Port and Airport Research Institute, Vol. 44, No. 4, pp. 53P, 2005.

장 인 성(In-Sung Jang) [정회원]



- 1995년 2월 : 서울대학교 공과대학 토목공학과 (공학석사)
- 2001년 2월 : 서울대학교 공과대학 토목공학과 (공학박사)
- 2001년 3월 ~ 2002년 12월 : 한국해양연구원 연수연구원
- 2001년 3월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 재직

<관심분야>

지반공학, 지반조사, 해양구조물, 수중시공장비

원 덕 희(Deokhee Won) [정회원]



- 2008년 8월 : 고려대학교 사회환경시스템공학과 (구조공학석사)
- 2011년 8월 : 고려대학교 건축사회환경공학과 (구조공학박사)
- 2011년 9월 ~ 2012년 6월 : 고려대학교 연구교수
- 2012년 6월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 선임연구원 재직

<관심분야>

강구조 및 합성구조, 해양구조, 구조해석

백 원 대(Wondaek Baek) [정회원]



- 1981년 2월 : 동도공업고등학교
- 2006년과 9월 : 안산공과대학 토목공학과
- 1980년 3월 ~ 1983년 11월 : 한국해양개발연구소 기능원
- 1985년 1월 ~ 2009년 9월 : 한국해양연구원 기술원
- 2009년 9월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 선임 기술원

<관심분야>

해양관측, 수중탐사, 수중장비

신 창 주(Changjoo Shin) [정회원]



- 2006년 2월 : 부산대학교 기계공학부 (공학사)
- 2012년 2월 : 부산대학교 기계공학부 (공학석·박사)
- 2012년 6월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 선임연구원

<관심분야>

수중로봇, 센서융합, 소음진동

이 승 현(Seung-Hyun Lee) [정회원]



- 1988년 8월 : 서울대학교 토목공학과 (공학사)
- 1991년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학박사)
- 2000년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 건축사회환경학부 교수

<관심분야>

토질역학, 기초공학